

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3902840 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 39 02 840.2
㉑ Anmeldetag: 31. 1. 89
㉒ Offenlegungstag: 23. 8. 90

㉓ Int. Cl. 5:
G 01 N 19/08

G 06 K 9/64
G 06 F 15/70
G 01 B 21/20
G 01 B 21/30
B 23 Q 17/20
B 23 C 3/13

DE 3902840 A1

㉔ Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

㉕ Vertreter:
Münich, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.;
Steinmann, O., Dr., Rechtsanw., 8000 München

㉖ Erfinder:
Höbing, Norbert, Dipl.-Ing., 7500 Karlsruhe, DE;
Klein, Rudolf, Dr.-Ing., 7513 Stutensee, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Oberflächenstruktur

Beschrieben wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Oberflächenstruktur von spanabhebend und insbesondere mit einem Stirnfräser bearbeiteten Werkstücken.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß eine durch den Bearbeitungsvorgang in der Bearbeitungsmaschine erzeugte Größe gemessen und die innerhalb eines bestimmten Zeitbereichs auftretenden Maximal- und Minimalwerte dieser Größe bestimmt werden, und daß zur Ermittlung der Oberflächenstruktur des Werkstücks während des Bearbeitungsvorgangs die ermittelten Maximal- und Minimalwerte in Korrelation zum jeweiligen Werkstückort mit Vergleichswerten verglichen werden, die in Zuordnung zu einer bestimmten Oberflächenstruktur an vergleichbaren Werkstücken vorher aufgenommen und gespeichert worden sind.

DE 3902840 A1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenstruktur von spanabhebend und insbesondere mit einem Stirnfräser bearbeiteten Werkstück sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Die Kenntnis der Oberflächenstruktur von bearbeiteten Werkstücken ist aus einer Vielzahl von Gründen von Interesse:

Bspw. ist für das zuverlässige Arbeiten eines Verbrennungsmotors die Öl- und Gasdichte der Trennflächen zwischen Kurbelgehäuse und Zylinderkopf von größter Wichtigkeit. Die Dichtheit ist nur gewährleistet, wenn die aneinander stoßenden Oberflächen möglichst große Planheit aufweisen. Deswegen dürfen Abweichungen bei der Fertigung dieser Oberflächen eine vorher festgelegte Grenze nicht überschreiten. Bisher wird die Oberflächenqualität in Stichproben nur qualitativ durch den Maschinenbediener beurteilt. Eine quantitative Beurteilung findet nicht statt, mit der Folge, daß die Werkzeuge häufig weit vor Erreichen ihres Standzeitendes ausgewechselt werden. Die durch den frühzeitigen Werkzeugwechsel entstehenden Kosten (Kosten für Schneidplatten, Arbeitszeit und Stillstandszeiten der Maschinen) stellen einen beträchtlichen Kostenfaktor dar und sollten deshalb verringert werden. Derzeit schwankt die Zahl der bearbeiteten Werkstücke pro Fräser zwischen 500 und 1500.

Grundlage der Erfindung ist die Erkenntnis, daß in der Regel entlang der Vorschubbewegung unterschiedliche Materialmengen abzutragen sind, so daß schwankende Bearbeitungskräfte auftreten. Durch diese schwankenden Bearbeitungskräfte verformt sich das System Werkzeug-Maschine aufgrund der endlichen Steifigkeit des Systems. So kommt es zu Abstandsänderungen zwischen Werkzeug und Werkstück, die sich in einer Unebenheit der gefertigten Oberfläche bemerkbar machen.

Je mehr Werkstücke ein Fräser bearbeitet hat, desto mehr verschleißt seine Schneiden. Der anwachsende Verschleiß erhöht die Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug und somit auch die Bearbeitungskräfte, wodurch wiederum die Maschinenverformungen und damit die Abstandsänderungen zwischen Werkstück und Werkzeug zunehmen. So wachsen auch die Unebenheiten auf der Werkstückoberfläche an, bis sie eine vorgeschriebene Grenze überschreiten und der Fräser ausgewechselt werden muß. Wegen wechselnder Werkstoff- und Schneidstoffhärten variiert die Anzahl der bearbeitbaren Werkstücke pro Fräser sehr stark.

Nach DIN 4760 wird die Summe aller Abweichungen einer bearbeiteten Oberfläche ("Ist-Oberfläche") von der geometrischen Oberfläche unter dem Begriff "Gestaltsabweichung" zusammengefaßt. Unter der Ist-Oberfläche versteht man das meßtechnisch erfaßte, angenäherte Abbild der wirklichen Oberfläche eines Formelementes. Die geometrische Oberfläche ist eine ideale Oberfläche, deren Nennform durch eine Zeichnung und/oder andere technische Unterlagen definiert ist. Die Gestaltsabweichungen sind nach ihrer Langwelligkeit in sechs Ordnungen unterteilt. Bei der Fertigung von Dichtflächen (Kurbelgehäuse, Turbinengehäuse) sind die 1. Ordnung ("Formabweichung") und die 2. Ordnung ("Welligkeit") von ausschlaggebender Bedeutung. Die Ordnungen 3-5 werden als Rauheitsabweichung bezeichnet, während die 6. Ordnung den Gitteraufbau des Werkstoffs beschreibt. Sie sollen hier nicht weiter

berücksichtigt werden.

Das gebräuchlichste Prinzip zur Messung von Gestaltsabweichungen ist die Abstandsmessung zwischen der zu vermessenden Oberfläche und einer Bezugsfläche (Freitastsystem). Das kann berührend und nicht berührend geschehen. In beiden Fällen wird ein Tastknopf auf einer Bezugsfläche geführt, die der ideal-geometrischen Fläche des Prüflings entspricht und die nach der zu messenden Oberfläche ausgerichtet ist. Im Falle der berührenden Messung erfaßt ein Taster, an dessen Spitze eine Diamantnadel angebracht ist, den Abstand zwischen Bezugsfläche und Meßobjekt. Die Auslenkungen des Tasters werden zumeist induktiv oder piezoelektrisch in eine abstandsproportionale Spannung umgewandelt.

Das von einem Oberflächen-Meßgerät gemessene Profil nennt man "ertastetes Profil". Es enthält die Gestaltsabweichungen der Ordnungen 1-4. Da für die Öldichtheit der bearbeiteten Kurbelgehäuse nur die ersten beiden Ordnungen von Interesse sind, müssen diese langwelligen Anteile durch Tiefpaßfilterung extrahiert werden. Hierfür schreibt die DIN 4774 ein Filter vor, dessen Charakteristik der zweier hintereinander geschalteter RC-Filter entspricht. Die Grenzwellenlängen des Filters soll mindestens das 2,5fache des auf der Oberfläche erzeugten Rillenmusters betragen. Die Meßstrecke, auf der die Gestaltsabweichungen gemessen wird, soll mindestens zwei Wellenlängen des Oberflächenmusters enthalten. Das für die Öldichtheit entscheidende Profilmerkmal "Wellentiefe" wird innerhalb dieser Meßstrecke ermittelt; sie ist als Abstand zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt eines Profils definiert.

Die scheinbar einfachste Möglichkeit, die zu einem bestimmten Zeitpunkt gefertigte Oberflächenqualität zu überwachen, wäre die direkte Messung der Wellentiefe mit einem Tastkopf. Derartige Messungen sind aber zu zeitaufwendig und bedingen darüber hinaus eine Unterbrechung des Fertigungsvorganges, so daß diese Verfahren in der industriellen Produktion i.d.R. nicht zu 100%-Stichproben verwendet werden.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Oberflächenstruktur von spanabhebend und insbesondere mit einem Stirnfräser bearbeiteten Werkstücken anzugeben, die eine Prozeß-begleitende 100%-Messung der gefertigten Werkstücke gestatten.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist mit ihren Weiterbildungen in den Patentansprüchen 1 bis 11 gekennzeichnet. Im Anspruch 12 ist eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens angegeben.

Erfindungsgemäß wird eine durch den Bearbeitungsvorgang der Bearbeitungsmaschine erzeugte Größe gemessen; die innerhalb eines bestimmten Zeitbereichs bzw. Zeitfensters auftretenden Maximal- und Minimalwerte dieser Größe werden bestimmt. Aus diesen Größen und insbesondere aus der Differenz der in einem bestimmten Zeitbereich auftretenden Maximal- und Minimalwerte (Anspruch 2) wird in Korrelation zum jeweiligen Werkstückort die Oberflächenstruktur des Werkzeugs dadurch bestimmt, daß die gemessenen Größen mit vorher an vergleichbaren Werkstücken aufgenommenen und gespeicherten Werten verglichen werden. Dabei können die Oberflächenfehler 1. und 2. Ordnung der "Referenzfläche" bevorzugt mit dem vorstehend beschriebenen "Tastverfahren" ermittelt werden (Anspruch 6).

In der Literatur ist es zwar vorgeschlagen worden, aus gemessenen Prozeßsignalen, die bspw. die Schwingungen eines Bohrers angeben, den Verschleißzustand des Werkzeugs indirekt zu ermitteln. Es ist jedoch bislang nicht in Betracht gezogen worden, derartige Prozeßsignale auch zur Bestimmung der Oberflächenstruktur heranzuziehen, da zwischen Werkzeugverschleiß und Oberflächenqualität kein direkter Zusammenhang besteht und bei bestimmten Oberflächen auch mit verschlissenem Werkzeug noch akzeptable Oberflächengüten erzeugt werden können.

Deshalb sind derartige Verfahren in der Vergangenheit im wesentlichen für die Grobzerspanung, bei der große Materialmengen getragen werden müssen, ohne daß die Oberflächenqualität eine Rolle spielen würde, in Betracht gezogen. Bei grobzerspanenden Verfahren bestimmt nämlich der Verschleiß das Standzeitende des Werkzeuges, da durch Verschleiß von einem bestimmten Wert an die Bruchgefahr rapide anwächst.

Erfindungsgemäß wird dagegen das Prozeßsignal zur Ermittlung der Oberflächenstruktur und insbesondere der Oberflächenfehler 1. und 2. Ordnung herangezogen (Anspruch 5). Selbstverständlich ist es gemäß Anspruch 11 aber auch möglich, aus der erfindungsgemäß ermittelten Oberflächenstruktur das Standzeitende des Bearbeitungswerkzeugs zu bestimmen.

Wie bereits ausgeführt, werden erfindungsgemäß in einem "Zeitfenster" die Minimal- und Maximalwerte des Prozeßsignals ermittelt. Dabei ist es bevorzugt, daß jeder Zeitbereich mindestens so groß ist, daß wenigstens eine Werkzeug-Umdrehung vollständig erfaßt wird, da nur dann gewährleistet ist, daß tatsächlich durch verschlissene Werkzeuge hervorgerufene Extremwerte "paarweise" erfaßt werden und bei der Bestimmung der Oberflächenstruktur eingehen (Anspruch 4).

Gemäß Anspruch 3 ist es weiterhin bevorzugt, daß sich die einzelnen Zeitbereiche überlappen; hierdurch ist sichergestellt, daß zueinander gehörende Extremwerte auch einander zugeordnet werden.

In den Ansprüchen 7 bis 10 sind verschiedene Möglichkeiten gekennzeichnet, eine durch den Bearbeitungsvorgang in der Bearbeitungsmaschine erzeugte Größe als Prozeßsignal heranzuziehen.

Beispielsweise kann gemäß Anspruch 7 bei einer Fräsmaschine als durch den Bearbeitungsvorgang erzeugte Größe die Leistungsaufnahme des Spindel- und/oder Vorschubmotors gemessen werden. Nahezu alle Bearbeitungsmaschinen besitzen einen Anschluß zur Messung der elektrischen Leistung von Spindel- und Vorschubmotor, so auch daß eine Nachrüstung von bestehenden Maschinen problemlos möglich ist.

Weiterhin ist es gemäß Anspruch 8 möglich, als durch den Bearbeitungsvorgang erzeugte Größe die in der Bearbeitungsvorrichtung auftretenden Dehnungen zu erfassen. Hierzu kann beispielsweise ein Dehnungsaufnehmer an einer Maschinenstelle angebracht werden, an der infolge der schwankenden Bearbeitungskräfte die größten Verformungen zu erwarten sind. Gewöhnlich ist das dort der Fall, wo der Spindelkopf am Maschinenständer befestigt ist (Anspruch 9).

Hier kann in der Nähe einer Befestigungsschraube ein Dehnungsmeßdübel angebracht werden.

Ferner kann gemäß Anspruch 10 bei einer Fräsmaschine als durch den Bearbeitungsvorgang erzeugte Größe das "Nicken" des Fräasers erfaßt werden. Aufgrund der schwankenden Bearbeitungskräfte verschieben sich Fräserkörper und Spindelkopf gegeneinander. Dieser variierende Abstand kann mit Hilfe eines z.B.

induktiven Abstandssensors einfach erfaßt werden.

Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 weist gemäß Anspruch 12 einen Sensor auf, der an der Bearbeitungsmaschine angebracht ist, der die durch den Bearbeitungsvorgang in der Bearbeitungsmaschine erzeugte Größe erfaßt, und dessen Ausgangssignal an eine Steuereinheit angelegt ist, in der die zuvor ermittelten Vergleichswerte gespeichert sind.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert, in der zeigen:

Fig. 1a – 1c eine typische Bearbeitungssituation beim Stirnfräsen,

Fig. 2 die Auswertung eines erfindungsgemäß zur Bestimmung der Oberflächenstruktur herangezogenen Prozeßsignals,

Fig. 3 eine typische Regreßfunktion ermittelt bei vier Schnitttiefen, und

Fig. 4 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Die Oberflächenbearbeitung beispielsweise von PKW-Kurbelgehäusen, Turbinengehäusen etc. erfolgt mit dem Fertigungsverfahren Stirnfräsen. Es handelt sich dabei um ein spanendes Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide. Nach DIN 8589 ist es dadurch gekennzeichnet, daß das meist mehrschneidige Werkzeug eine kreisförmige Schnittbewegung ausführt; die gradlinige Vorschubbewegung verläuft senkrecht zur Drehachse.

Fig. 1 zeigt im Teilbild a einen (nicht maßstabsgerechten) Stirnfräser. Die an der Stirnseite des Werkzeuges befindlichen Nebenschneiden erzeugen hierbei die Oberfläche. Der Fräser ist (beispielsweise) mit 64 Schneiden ausgerüstet.

Fig. 1b zeigt eine typische Werkstückoberfläche. Während der Bearbeitung wird das Werkstück in Vorschubrichtung unter dem rotierenden Fräser hindurch geschoben, wobei mit voreingestellter Schnitttiefe Material abgetragen wird.

Fig. 1c zeigt einen während der Bearbeitung gemessenen Schnittkraftverlauf. Die Schnittkraft weist dort große Werte auf, wo viel Material zu entfernen ist, so am linken Werkstückrand; kleinere Kräfte entstehen an den Stellen, wo sich Zylinderbohrungen befinden, d.h. wo wenig Material abzutragen ist. Durch die schwankenden Bearbeitungskräfte verformt sich das System Werkzeug-Maschine infolge endlicher Steifigkeit. So kommt es zu Abstandsänderungen zwischen Werkzeug und Werkstück, die sich in der Unebenheit der gefertigten Oberfläche bemerkbar machen.

Nachfolgend soll unter Bezugnahme auf die Fig. 2 folg. das erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert werden. Dabei werden (exemplarisch) als eine durch den Bearbeitungsvorgang in der Bearbeitungsmaschine erzeugte Größe, die zur Bestimmung der Oberflächenstruktur herangezogen wird, drei unterschiedliche Signalararten verwendet, nämlich die Leistungsaufnahme des Spindel- und/oder Vorschubmotors, eine charakteristische Dehnung im Maschinengestell oder das Nicken des Fräasers.

Grundlage der Erfindung ist dabei die Erkenntnis, daß nicht die Höhe des Bearbeitungskraftniveaus für die Welligkeit der gefertigten Werkstücksoberfläche maßgebend ist, sondern die Größe ihrer Schwankungen (Lastwechsel). Diese steigen sowohl mit wachsendem Werkzeugverschleiß als auch mit zunehmender Schnitttiefe und erhöhen so die Welligkeit.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die

Lastwechsel als "MinMax-Merkmale" aus den Prozeßsignalen extrahiert. Dazu wird das Prozeßsignal zunächst tiefpaßgefiltert. Die Filtergrenzfrequenz beträgt das Zweifache der Fräserdrehfrequenz f_D . Die Filtercharakteristik entspricht einem RC-Filter mit einer Dämpfung von 12 dB/Oktave.

Fig. 2 zeigt ein so vorverarbeitetes Prozeßsignal über der Bearbeitungszeit aufgetragen. Dabei ist das Prozeßsignal ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens die elektrische Leistung des Spindelmotors.

Über das Signal wird ein Zeitfenster geschoben; innerhalb des Fensters wird das MinMax-Merkmal ermittelt; es handelt sich dabei um die Differenz zwischen Maximum und Minimum innerhalb des Fensters. Das Fenster wird jeweils um 20% der Fensterbreite B_F nach rechts verschoben. An jeder Fensterposition wird das MinMax-Merkmal ermittelt. Zum Schluß wird als Ergebnis der Mittelwert über alle Merkmale berechnet. Die Fensterbreite B_F ist so zu wählen, daß der Signalverlauf von mindestens einer Fräserumdrehung enthalten ist; sie bestimmt sich zu

$$B_{Fmin} = 1.2 \times 1/f_D$$

Bei stark strukturierten Werkstücken sollte sie so groß sein, daß zwei durch die Werkstückstruktur angeregte lokale aufeinanderfolgende Extremwerte enthalten sind (hier: $B_F = 1.5$ s). Diese Randbedingungen sind in Anlehnung an DIN 4774 entstanden.

Vor dem Einsatz des Verfahrens in der Prozeßüberwachung sind die Verfahrensparameter einmal für eine Kombination von Prozeßsignal-Maschine-Werkzeug-typ zu ermitteln.

Hierzu wird vor Beginn der Serienfertigung ein Werkstück mit arbeitsscharfem Werkzeug überfräst; die Schnittdaten sind identisch mit den in der Serienfertigung eingestellten. Bei der Bearbeitung wird das mittlere MinMax-Merkmal des erfaßten Prozeßsignals bestimmt. Danach wird mit einem Oberflächenmeßgerät die mittlere Wellentiefe auf dem Werkstück gemessen, unter den gleichen Randbedingungen, unter denen das Prozeßsignal-Merkmal extrahiert wurde (gleiche Grenzfrequenz, gleiches F_B). Dieses Vorgehen wird mit um 50% erhöhter Schnitttiefe solange wiederholt, bis die mittlere Wellentiefe der Werkstücksoberfläche den vom Motorhersteller festgelegten Grenzwert überschreitet. Die so gefundenen Wertepaare (gewöhnlich zwischen 3 und 6) von mittleren MinMax-Merkmalen und Wellentiefen werden durch eine Regressionsfunktion nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate angenähert (siehe Fig. 3).

Für die Prozeßsignale Dehnung und elektrische Leistung ist sie eine Gerade; im Falle des Spindelricksignals kommt ein Polynomansatz 3. Ordnung in Frage.

Die Ermittlung der Verfahrensparameter ist auch parallel zur Serienfertigung denkbar. Hier müßten die für die Regressionsfunktion benötigten Prozeßsignal- und Oberflächenmerkmale in Stichproben während der Lebensdauer eines Fräasers ermittelt werden.

Nachdem die Verfahrensparameter einmal festgelegt sind, kann die Serienfertigung überwacht werden. Während jeder Überfräsung wird das mittlere MinMax-Merkmal bestimmt; daraus wird mit Hilfe der vorher berechneten Regressionskurve die Welligkeit der gefertigten Oberfläche geschätzt. Übersteigen nun die geschätzten Welligkeiten einer vorher festzulegenden Anzahl aufeinanderfolgender Werkstücke den Grenzwert, so ist der Fräser auszuwechseln.

Fig. 4 zeigt das Blockschaltbild einer Überwachungsvorrichtung, die das vorstehend erläuterte erfindungsgemäße Verfahren verwendet:

Das Ausgangssignal eines Sensors, der eines der vorstehend aufgeführten Prozeßsignale erfaßt, ist an einen Vorverstärker angelegt, der das Sensorsignal an den Spannungsbereich des Analog-Digital-Umsetzers anpaßt. Für unterschiedliche Fräserdrehfrequenzen f_D wird die Grenzfrequenz eines zwischengeschalteten 2-poligen RC-Tiefpasses einstellbar ausgelegt; sie ist jeweils doppelt so groß wie die Fräserdrehfrequenz. Für die zu erwartende Prozeßsignaldynamik genügt ein Analog-Digital-Umsetzer mit einer Auflösung von 8 Bit. Die Abtastrate wird zu $30 f_D$ eingestellt. Dies bedeutet bei üblichen Fräserdrehzahlen eine Umsetzrate von maximal 300 s^{-1} .

Die notwendigen Eingaben werden über eine Zehner-tastatur eingegeben. Über eine Schnittstelle zur NC-Steuerung (NC: Numerical Control) könnten Daten wie Fräserdrehfrequenz, Grenzwerte für Welligkeit und Fensterbreite alternativ in das Überwachungsgerät eingelesen werden. Während der Werkstückbearbeitung stellt die numerische Steuerung ein Torsignal bereit, das den Digitalisiervorgang steuert. Der Mikrorechner kann aus einem Single-Chip-Mikroprozessor mit externem Halbleiterspeicher bestehen. Er steuert den Ablauf des oben beschriebenen Verfahrens im Lern- und Überwachungsbetrieb:

1. Abspeichern der aktuellen Sensordaten
2. Berechnung des mittleren MinMax-Merkmales für jede Überfräsung
3. Berechnung der Regressionsfunktion
4. Schätzung der aktuellen Welligkeit und Schätzung der Fräserrestlebensdauer mittels linearer Extrapolation
5. Anzeige Standzeitende.

Darüber hinaus stellt er noch die Grenzfrequenz des Tiefpaßfilters und die Abtastfrequenz für den Analog-Digital-Umsetzer ein. Bis auf das Abspeichern der aktuellen Sensordaten werden alle anderen Aktionen in der Bearbeitungspause zwischen zwei Werkstücken erledigt; die Länge der Werkstückwechselzeit beträgt üblicherweise bis ca. 5 s. Die Rechnungen, die während dieser Zeit durchzuführen sind, können von handelsüblichen Single-Chip-Mikroprozessoren ohne Probleme abgearbeitet werden.

Vorstehend ist die Erfindung exemplarisch ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens beschrieben worden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenstruktur von spanabhebend und insbesondere mit einem Stirnfräser bearbeiteten Werkstücken, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine durch den Bearbeitungsvorgang in der Bearbeitungsmaschine erzeugte Größe gemessen und die innerhalb eines bestimmten Zeitbereichs auftretenden Maximal- und Minimalwerte dieser Größe bestimmt werden, und daß zur Ermittlung der Oberflächenstruktur des Werkstücks während des Bearbeitungsvorgangs die ermittelten Maximal- und Minimalwerte in Korrelation zum jeweiligen Werkstückort mit Vergleichswerten verglichen werden, die in Zuordnung

zu einer bestimmten Oberflächenstruktur an vergleichbaren Werkstücken vorher aufgenommen und gespeichert worden sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß lediglich die Differenz zwischen dem in einem bestimmten Zeitbereich auftretenden Maximal- und Minimalwert bestimmt und mit den gespeicherten Vergleichsdifferenzen verglichen wird. 5

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Zeitbereiche sich überlappen. 10

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Zeitbereich mindestens so groß ist, daß wenigstens eine Werkzeug-Umdrehung vollständig erfaßt wird. 15

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß Oberflächenfehler 1. und 2. Ordnung ermittelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenfehler der zur Ermittlung der Vergleichswerte herangezogenen Oberfläche mit einem Taster ermittelt werden. 20

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Fräsmaschine als durch den Bearbeitungsvorgang erzeugte Größe die Leistungsaufnahme des Spindel- und/oder Vorschubmotors gemessen wird. 25

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als durch den Bearbeitungsvorgang erzeugte Größe die in der Bearbeitungsvorrichtung auftretenden Dehnungen erfaßt werden. 30

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnung an der Stelle erfaßt wird, an der der Spindelkopf am Maschinenständer befestigt ist. 35

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Fräsmaschine als durch den Bearbeitungsvorgang erzeugte Größe das "Nicken" des Fräasers erfaßt wird. 40

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß aus der ermittelten Oberflächenstruktur das Standzeitende des Bearbeitungswerkzeugs bestimmt wird.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß an der Bearbeitungsmaschine ein Sensor angebracht ist, der die durch den Bearbeitungsvorgang in der Bearbeitungsmaschine erzeugte Größe erfaßt, und dessen Ausgangssignal an eine Steuereinheit angelegt ist, in der die zuvor ermittelten Vergleichswerte gespeichert sind. 45 50

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

— Leerseite —

BEST AVAILABLE COPY

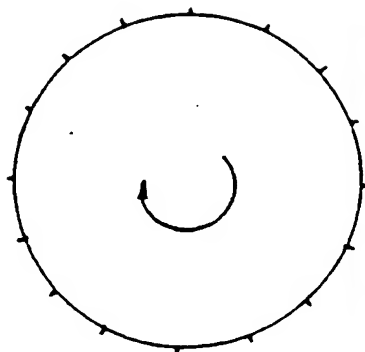


Fig. 1a

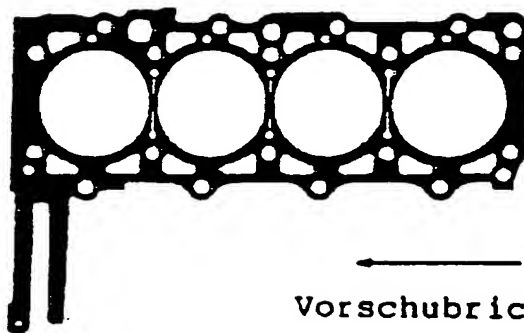


Fig. 1b

Vorschubrichtung

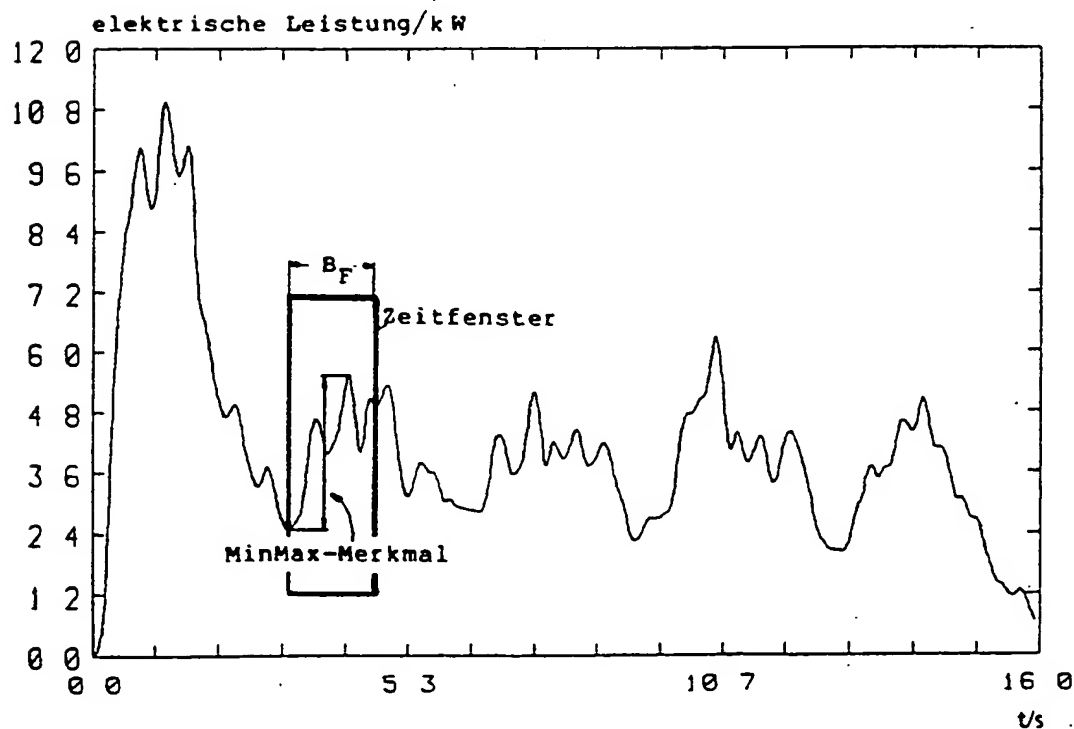
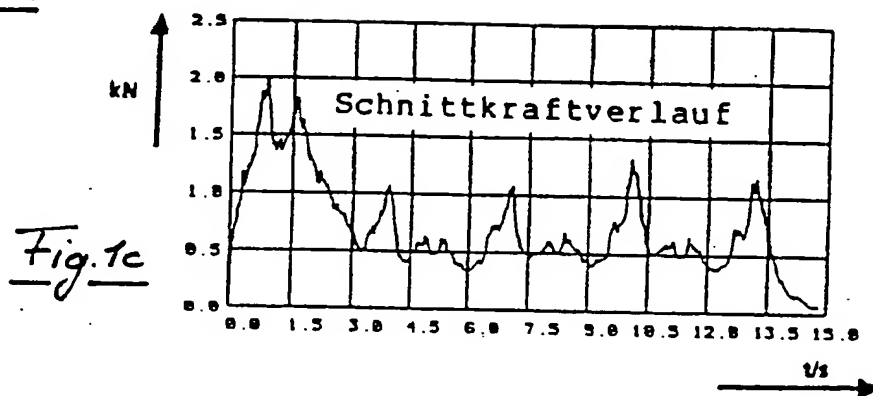


Fig. 2

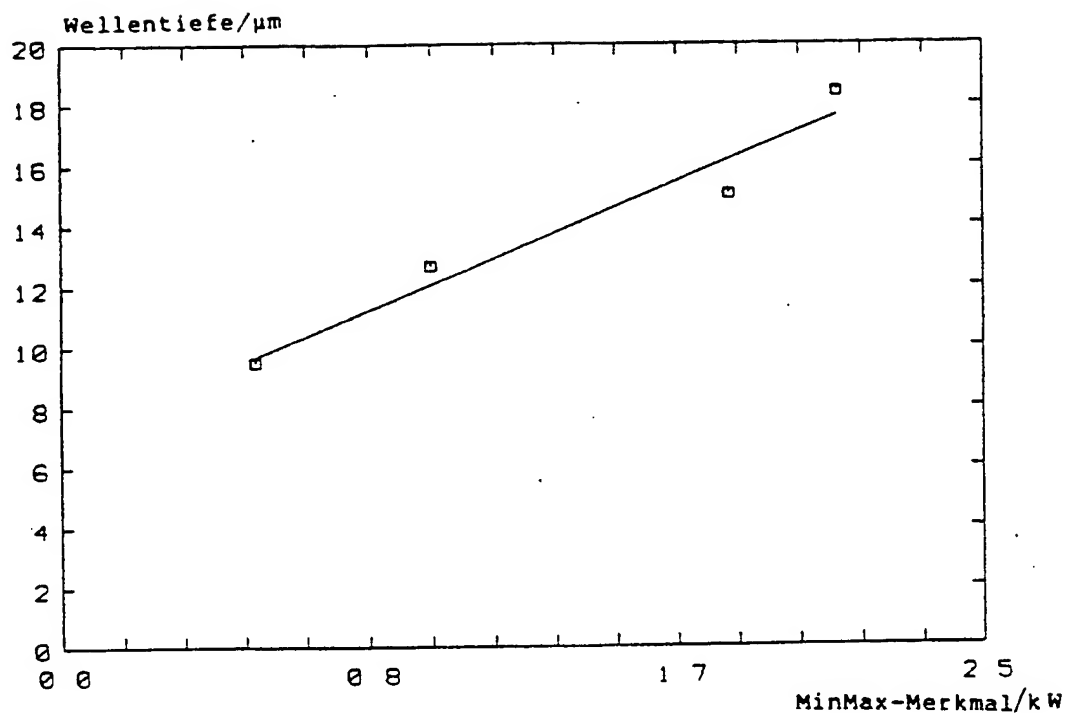


Fig. 3

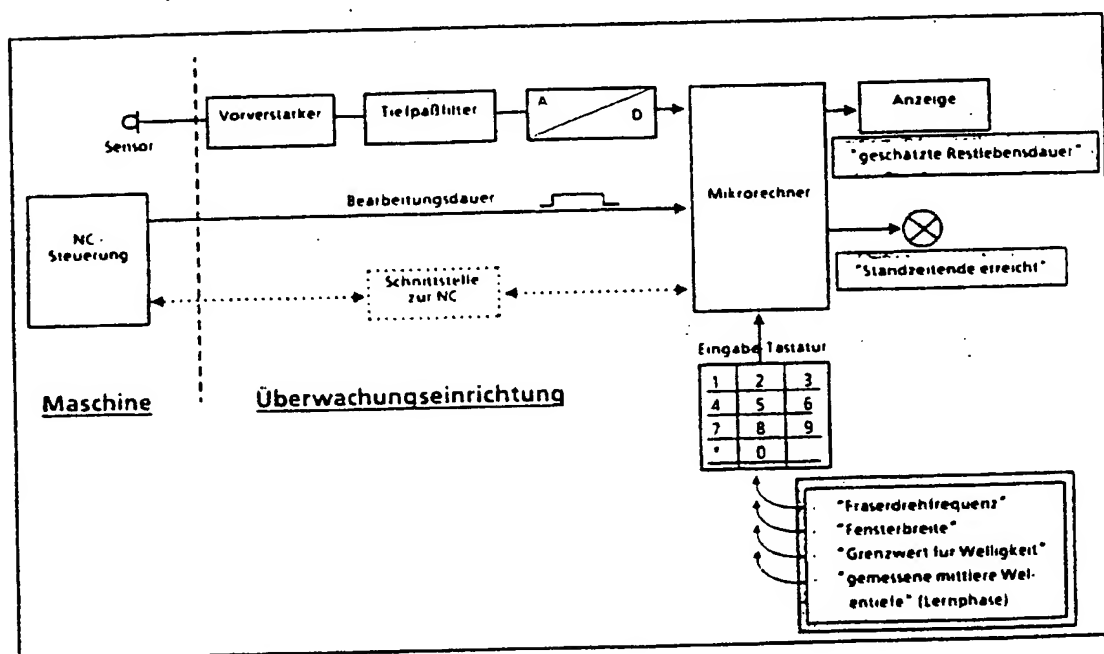


Fig. 4